

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 789**

51 Int. Cl.:

F41G 7/22 (2006.01)

F42B 10/46 (2006.01)

F42B 15/34 (2006.01)

F42B 15/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.08.2016 PCT/US2016/046158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.05.2017 WO17078815**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2016 E 16840301 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2024 EP 3334997**

54 Título: **Filtrado de polarización para la autoemisión de la ventana por calentamiento aerotérmico**

30 Prioridad:

23.10.2015 US 201514921774

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.12.2024

73 Titular/es:

**RAYTHEON COMPANY (100.0%)
870 Winter Street
Waltham, MA 02451-1449, US**

72 Inventor/es:

FEST, ERIC C.

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 992 789 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Filtrado de polarización para la autoemisión de la ventana por calentamiento aerotérmico

5 **Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

10 Esta invención se refiere a sistemas ópticos, como se definen en las reivindicaciones, para uso con vehículos aéreos sujetos a calentamiento aerotérmico extremo en los que la autoemisión de la ventana reduce la relación señal-ruido (SNR) de las emisiones objetivo detectadas, complicando la tarea de seguimiento de objetivos.

Descripción de la técnica relacionada

15 Los sistemas ópticos para uso con vehículos aéreos tales como misiles guiados o módulos de sensores montados en el vientre de los aviones normalmente incluyen una ventana óptica (por ejemplo, una cúpula), que protege los componentes ópticos y eléctricos sensibles. La ventana óptica es transparente en una banda espectral deseada (por ejemplo, la banda MWIR de 3 a 5 micrones) para pasar las emisiones de un objetivo en un escenario a través de la ventana óptica hasta la pupila de entrada de la óptica de enfoque, que a su vez dirige la radiación incidente a lo largo de una trayectoria óptica y enfocar la radiación en un detector. El detector puede ser, por ejemplo, un detector de 20 cuatro celdas para aplicaciones sin imágenes, como el seguimiento de puntos. El detector puede ser, por ejemplo, una matriz de plano focal (FPA) para diversas aplicaciones de obtención de imágenes. El FPA generalmente incluye una serie de píxeles, cada píxel incluye un fotodetector que genera una señal en respuesta a la intensidad del incidente. Estas señales se recopilan y combinan para formar una imagen digital del objeto. La óptica de enfoque puede ser fija o con cardán para aumentar el campo de visión (FOR). Normalmente, la pupila de entrada es simétrica con respecto al eje central de simetría de la ventana óptica. Alternativamente, la pupila de entrada puede desplazarse de manera que el FOR no cruce la punta de la ventana óptica para reducir la distorsión (ver publicación de EE. UU. N.º 2015/0022874).

30 Idealmente, las únicas emisiones detectadas por el detector son las del escenario y, en particular, las de un objetivo específico. Sin embargo, en los misiles guiados o en los módulos de sensores puede haber muchas fuentes diferentes de radiación parásita o “ruido” que reduce la SNR del objetivo y la capacidad de la unidad de guía para rastrear el objetivo. Una de esas fuentes es la autoemisión de la ventana óptica que puede ocurrir debido al calentamiento aerotérmico cuando el misil o cápsula viaja a través de la atmósfera. La cantidad de calentamiento aerotérmico depende de las velocidades de vuelo, del diseño aerodinámico de la ventana que induce el calentamiento y del diseño 35 térmico de la ventana que elimina el calor para enfriarla. Las autoemisiones de la ventana pueden aumentar el ruido de fondo general o inducir un gradiente en la señal detectada (debido al calentamiento no uniforme de la ventana). En muchos casos, las autoemisiones debidas al calentamiento aerotérmico son insignificantes. En otros, es deseable intentar mitigar los efectos de las autoemisiones de las ventanas.

40 Un método consiste en filtrar espectralmente la radiación incidente. En términos generales, la temperatura de la ventana óptica calentada aerotermalmente es mucho más alta que la temperatura del objetivo. Como tal, las emisiones del objetivo y de la ventana óptica tendrán características espectrales diferentes. Por ejemplo, la intensidad relativa de las emisiones de la ventana será mayor en las longitudes de onda más largas de la banda MWIR. El filtrado de 45 paso bajo de la radiación incidente puede mejorar el contraste de la radiación objetivo (señal) con la radiación autoemitida (ruido) de la ventana. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense n.º 8.466.964 titulada “Sistema de cámara infrarroja térmica multiespectral no refrigerada” expedida el 18 de junio de 2014.

50 El calentamiento aerotérmico no uniforme puede inducir un gradiente en las autoemisiones de la ventana, de ahí la radiación incidente total detectada. Este gradiente es una forma de “ruido de patrón fijo”. Una forma de eliminar este ruido de patrón fijo es mediante la corrección de no uniformidad basada en escenas (NUC), en la que la escena se difumina intencionalmente y la imagen resultante se graba y luego se resta de las imágenes no borrosas de la escena. El desenfoque generalmente se logra moviendo un elemento óptico, como una lente, un prisma o un difusor, hacia el haz, aunque algunos métodos de NUCing basados en escenas están completamente basados en software. La ventaja 55 de NUC basado en escenas (a diferencia de otros métodos de NUC, como el uso de un obturador delante del detector) es que puede corregir las contribuciones al ruido de patrón fijo de cada elemento óptico del sistema, incluidas ventanas y cúpulas. La desventaja es que el método de desenfoque debe diseñarse cuidadosamente para que el objetivo no se sustraiga inadvertidamente de la imagen final. Véase EE Armstrong, MM Hayat, RC Hardie, S. Torres y B. Yasuda, “Non-uniformity Correction for Improvementd Registration and High-Resolution Image Reconstruction in IR Imagery”, Actas de la reunión anual de SPIE, Aplicación del procesamiento de imágenes digitales XXII. , Denver Colorado, 18 al 60 23 de julio de 1999.

Los polarímetros se pueden utilizar para analizar los componentes de polarización de la luz para, por ejemplo, extraer información sobre la forma de un objeto. Algunos polarímetros utilizan dos o más polarizadores lineales (píxeles 65 polarizados) que filtran al menos la mitad de la luz entrante y dirigen la luz restante a un plano focal. Como resultado, el brillo de la imagen en el plano focal se reduce sustancialmente (por ejemplo, aproximadamente a la mitad).

La polarimetría requiere al menos tres mediciones para analizar los componentes de polarización de la luz; al menos dos componentes de polarización diferentes y posiblemente un componente no polarizado. Normalmente, la matriz de filtros pixelados y el FPA se dividen en grupos de cuatro píxeles (por ejemplo, una submatriz de píxeles de 2x2). La matriz de filtros pixelados estándar disponible comercialmente es una matriz 2x2 de polarizadores lineales que tienen valores angulares de $\Theta_1 = 0^\circ$, $\Theta_2 = 45^\circ$, $\Theta_3 = 90^\circ$ y $\Theta_4 = 135^\circ$, respectivamente, que son óptimos suponiendo una alineación perfecta entre la matriz de filtros pixelados y la publicación de patente estadounidense FPA 2014/0063299 a Fest y otros titulada "Matriz de Filtros Pixelados Movibles" describe una técnica para utilizar la matriz de reducción de datos para tener en cuenta la desalineación. La electrónica puede calcular una imagen de ángulo de polarización lineal (AoLP) y una imagen de grado de polarización lineal (DoLP) a partir de los cuatro valores de píxeles polarizados linealmente en cada grupo para extraer información de la forma. La electrónica también puede calcular un promedio de los cuatro píxeles del detector en cada grupo para formar una imagen de intensidad de resolución reducida.

El documento US 5135183 A se refiere a un prisma birrefringente que está dispuesto delante de la abertura de entrada de un telescopio tipo Cassegrain que constituye el conjunto de enfoque óptico en un sistema de seguimiento para un misil guiado o similar. El prisma refracta la primera radiación que tiene una primera polarización en una primera dirección y refracta la segunda radiación que tiene una segunda polarización que es ortogonal a la primera polarización en una segunda dirección que se desvía de la primera dirección en un ángulo predeterminado.

El documento US 2010/127174 A1 se refiere a un detector multimodo y un método de detección que utiliza componentes ópticos compartidos para detectar múltiples longitudes de onda de energía entrantes diferentes.

El documento US 2014/063299 A1 se refiere a un sistema y método de imágenes ópticas que incluye una matriz de filtros pixelados movibles, un mecanismo de obturador al que está unida la matriz de filtros pixelados y un controlador configurado para implementar un algoritmo de reducción de datos.

El documento US 2012/111992 A1 se refiere a un vehículo que incluye imágenes electroópticas que tiene una carrocería que tiene una superficie exterior que incluye una porción frontal y una porción lateral, en donde la porción lateral incluye una pluralidad de portillos. Una fuente de propulsión está dentro de la carrocería del vehículo para mover el vehículo.

El documento US 2015/022874 A1 se refiere a un sistema óptico con cardán de dos ejes y apertura desplazada que comprende un cardán de dos ejes y un conjunto óptico que está montado en el cardán interior y desplazado radialmente desde el eje de rotación del cardán exterior.

Sumario de la invención

A continuación, se presenta un resumen simplificado para brindar una comprensión básica de algunos aspectos de las modalidades divulgadas. Este resumen no pretende identificar elementos clave o críticos de la invención ni delinear el alcance de la invención. Su propósito es exponer algunos conceptos de las modalidades descritas en una forma simplificada como preludio a una descripción más detallada que se presenta más adelante.

La invención se define en la reivindicación 1. Las realizaciones de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Se coloca un polarizador en el camino óptico entre la ventana óptica y un detector (por ejemplo, un FPA o de cuatro celdas). El polarizador comprende al menos un píxel de filtro que imparte una polarización lineal de un cierto valor angular para filtrar la radiación incidente en función de la polarización de la radiación incidente. Al menos un píxel de filtro está alineado con la polarización P en el plano de incidencia. Si el polarizador es un polarizador de lámina (efectivamente, un píxel de filtro grande), el polarizador de lámina está alineado con la polarización P en el plano de incidencia. Si el polarizador es un polarizador de microrred, al menos un píxel de filtro y preferiblemente múltiples píxeles de filtro en cada submatriz están alineados con la polarización P en el plano de incidencia. Esto mejora la SNR de la radiación objetivo detectada. En el caso del polarizador de microrred, la imagen AoLP elimina los efectos del calentamiento aerotérmico no uniforme. El polarizador de lámina se puede usar con detectores de imágenes o sin imágenes, mientras que el polarizador de microrred solo es aplicable para detectores de imágenes como un FPA.

En una realización, el vehículo de vuelo es propulsado hacia el objetivo a velocidades supersónicas superiores a Mach 1 y, en algunas aplicaciones, velocidades hipersónicas superiores a Mach 5.

En diferentes realizaciones, un polarizador de lámina pasa radiación polarizada P, modulando así la intensidad de la radiación incidente en función de su polarización P y aumentando la relación de contraste entre la radiación objetivo y la radiación autoemitida. En un sistema óptico fijo, el polarizador de lámina se puede colocar en cualquier punto a lo largo del camino óptico entre la ventana óptica y el detector. En un sistema óptico con cardán, la lámina polarizadora se puede colocar fuera del cardán o en cualquier posición en el cardán interior. Si está fuera del cardán, éste se gira para alinear el plano de incidencia con el polarizador de lámina para leer las señales del detector. Alternativamente, el polarizador de lámina podría ser una matriz de microrred dinámica controlada electrónicamente para presentar una

polarización lineal única que rastree la rotación del cardán. Si está en un cardán, el polarizador de lámina se monta alineado con la polarización P en el plano de incidencia y permanece alineado mientras el cardán gira.

En diferentes realizaciones, una matriz polarizadora de microrred que tiene una pluralidad de submatrices de filtros pixelados polarizados se coloca en el FPA o en una imagen intermedia (plano conjugado) del plano focal. Cada submatriz comprende tres o más píxeles de filtro Q de los cuales al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente. El polarizador de microrred se monta de manera que al menos uno de los píxeles de filtro (preferiblemente múltiples) en cada submatriz esté alineado con la polarización P en el plano de incidencia.

Las características y ventajas anteriores y otras de la invención resultan evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y tomada en conjunto con los dibujos que la acompañan, en los que:

Breve descripción de los dibujos

Figuras 1a, 1b y 1c son diagramas de un misil hipersónico, un diagrama de radiancia frente a la longitud de onda de un objetivo y una ventana óptica calentada aerotérmicamente del misil hipersónico y un gráfico de la radiancia integrada sobre una banda MWIR de 3-5 micrones, respectivamente;

Figuras 2a y 2b son un diagrama de la radiación objetivo a través y la radiación autoemitida desde una ventana óptica y el porcentaje de polarización de la radiación objetivo y la radiación autoemitida en función del ángulo de incidencia, respectivamente;

Figura 3 es un diagrama de un sistema óptico fijo que incluye un polarizador alineado, al menos en parte, con la polarización P en el plano de incidencia;

Figuras 4a y 4b son un diagrama teórico y diferentes vistas de un diagrama mecánico de un sistema óptico con cardán de movimiento giratorio que incluye un polarizador, dentro o fuera del cardán, alineado, al menos en parte, con la polarización P en el plano de incidencia;

Figuras 5a, 5b y 5c son un diagrama de un polarizador de lámina alineado con el plano de incidencia, un gráfico que ilustra la mejora en la SNR con el % de polarización del objetivo y la ventana óptica y las imágenes de radiancia del objetivo con y sin el polarizador de lámina, respectivamente;

Figura 6 es un diagrama de un polarizador de microrred en un cardán de movimiento giratorio, imágenes de radiancia y AoLP que ilustran la eliminación de un gradiente debido al calentamiento aerotérmico no uniforme de la ventana óptica;

Figura 7 es un diagrama de una submatriz de 2x2 del polarizador de microrred en la que a dos píxeles se les asigna arbitrariamente una polarización lineal de 0° que está alineada con la polarización P en el plano de incidencia;

Figuras 8a a 8d son diagramas que ilustran una matriz de microrred dinámica en la que los valores de píxeles de filtro arbitrarios se pueden configurar todos al mismo valor para formar un polarizador de lámina, valores diferentes para formar un polarizador de microrred o todos a estados no polarizados para formar un elemento no polarizado; y

Figura 9 es un diagrama de una realización de un sistema de imágenes ópticas que utiliza un mecanismo de obturador para colocar selectivamente un polarizador de lámina, un polarizador de microrrejilla o un elemento transmisor en la trayectoria óptica.

Descripción detallada de la invención

La presente invención proporciona un sistema óptico para uso con vehículos aéreos sujetos a calentamiento aerotérmico extremo en el que la autoemisión de la ventana reduce la SNR de las emisiones objetivo detectadas, complicando la tarea de seguimiento del objetivo. Las armas supersónicas (> Mach 1) y más aún las hipersónicas (> Mach 5) pueden producir un calentamiento aerotérmico tan extremo de la ventana. Las técnicas de filtrado espectral pueden ser eficaces para aumentar la SNR; sin embargo, en algunos sistemas, dichas técnicas por sí solas no son suficientes. La presente invención proporciona una técnica basada en explotar la polarización del objetivo y la radiación autoemitida para reducir la emisión de la ventana de fondo o eliminar un gradiente debido al calentamiento no uniforme.

Con referencia ahora a las Figuras 1a, 1b y 1c, en una realización un arma hipersónica **10** está sujeta a un calentamiento aerotérmico extremo de su ventana óptica **12** cuando viaja a velocidades hipersónicas a través de la atmósfera. El arma comprende una estructura de avión **15** y un sistema de propulsión **17** tal como un motor de cohete líquido o sólido configurado para impulsar el arma hacia el objetivo por encima de Mach 5. La temperatura de la ventana óptica es típicamente mucho más alta que la temperatura de un objetivo. En consecuencia, el nivel de emisiones **14** de la ventana óptica **12** es mucho mayor que el nivel de emisiones **16** del objetivo en toda la banda

MWIR de 3 a 5 micrones. La radiancia integrada 18 de la ventana óptica sobre la banda MWIR es varias veces la radiancia integrada 20 del objetivo.

Los rastreadores de objetivos requieren una SNR mínima determinada para rastrear un objetivo de manera fiable. Por ejemplo, según M. Mallick y V. Krishnamurthy, "Integrated Tracking, Classification, and Sensor Management", Wiley (2012) se requiere una SNR mínima de 12 dB (≈ 15) para rastrear un objetivo. Algunos rastreadores requieren una SNR más alta, otros menos. En el ejemplo ilustrado, la SNR no superaría el mínimo requerido para el seguimiento. Dado que los niveles de emisiones de la ventana óptica dominan las emisiones objetivo en todo el MWIR, el filtrado espectral convencional sería ineficaz.

Con referencia ahora a las Figuras 2a y 2b, la luz 30 de un objetivo distante 31 pasa a través de una superficie exterior 32 y una superficie interior 34 de una ventana óptica inclinada 36, representativa de una porción fuera del eje de la ventana óptica del arma hipersónica. La ventana con calentamiento aerotérmico emite luz en todas direcciones. Una parte de la luz de la ventana 33 se emite en la misma dirección que la luz objetivo incidente 30 y pasa sólo a través de la superficie interior 34.

Un plano de incidencia 38 se define como el plano que contiene el rayo incidente (luz 30) y una normal 40 a la superficie de la ventana. Si las superficies exterior e interior tienen la misma simetría (como suele suceder), los planos de incidencia de las dos superficies son coincidentes.

Las ecuaciones de Fresnel describen el comportamiento de la luz cuando se mueve entre medios con diferentes índices de refracción, como entre la ventana óptica y el aire. Según las ecuaciones de Fresnel, el campo eléctrico transversal de la luz polarizada p oscila en el plano de incidencia 38. El campo eléctrico de la luz polarizada s oscila perpendicular al plano de incidencia. Según las ecuaciones, la mayor parte de la energía incidente está polarizada p.

El grado en el que la luz está polarizada p se ve más fuertemente afectado por el ángulo de incidencia (AOI) 42 entre la luz objetivo 30 y la superficie normal 40, y en menor medida, la diferencia del índice de refracción entre el material de la ventana y el aire. Cuanto mayor es el AOI, mayor es la polarización p de la luz.

Como se muestra en la Figura 2b, para un AOI determinado, la polarización p 44 de la luz objetivo es mayor que la polarización p 46 de la luz de la ventana. La diferencia de polarización p 48 entre las dos curvas aumenta (hasta cierto punto) con un AOI creciente. Esta diferencia es el resultado de que la luz objetivo 30 pase a través de las superficies interna y externa y, por lo tanto, hace dos veces la transición entre los medios de ventana y el aire, y la luz de la ventana 33 pasa solo a través de la superficie interna y, por lo tanto, hace la transición entre los medios de ventana y aire sólo una vez.

Un objetivo típico emite una firma térmica en la banda MWIR que es una combinación de luz polarizada y no polarizada. La ventana inclinada 36 induce una polarización p en el componente no polarizado de la señal térmica 30 que es más fuerte que el componente polarizado de la señal 33. Tenga en cuenta que esto sólo es cierto si la pupila de entrada del sistema óptico está colocada para mirar a través de un segmento fuera del eje de la ventana. Si el sistema óptico es un sistema en eje más típico, la luz no tendrá un estado de polarización p predominante porque la simetría rotacional de la ventana óptica cancelará la polarización inducida.

La presente invención combina un sistema óptico fuera de eje, fijo o cardán, cuya pupila de entrada mira a través de un segmento fuera de eje de la ventana óptica con un polarizador que está colocado en el camino óptico entre la ventana óptica y un detector. El polarizador comprende al menos un píxel de filtro que imparte una polarización lineal de un cierto valor angular para filtrar la radiación incidente en función de la polarización de la radiación incidente. Al menos un píxel de filtro está alineado con la polarización P en el plano de incidencia. El al menos un píxel de filtro modula la intensidad de la radiación incidente en función de su polarización P. Debido a que la luz objetivo está más polarizada p que la luz de la ventana, esto aumenta la relación de contraste entre la luz objetivo (radiación) y la luz de la ventana (radiación), lo que aumenta la SNR en el detector.

Si el polarizador es un polarizador de lámina (efectivamente, un píxel de filtro grande), el polarizador de lámina está alineado con la polarización P en el plano de incidencia. El polarizador de lámina modula la intensidad de la radiación incidente, tanto la radiación objetivo como la radiación autoemitida, en función de su polarización P. Esto aumenta la relación de contraste entre la radiación objetivo y la radiación autoemitida, de ahí la relación señal/ruido de la imagen de radiancia.

Si el polarizador es un polarizador de microrred, al menos un píxel de filtro y preferiblemente múltiples píxeles de filtro en cada submatriz están alineados con la polarización P en el plano de incidencia. Por ejemplo, para una submatriz estándar de 2x2 de polarizadores lineales que tienen valores angulares de $\Theta_1 = 0^\circ$, $\Theta_2 = 45^\circ$, $\Theta_3 = 90^\circ$ y $\Theta_4 = 135^\circ$, el valor angular de uno de los píxeles está alineado con el plano de incidencia. Otra submatriz de 2x2 puede tener valores angulares de, por ejemplo, $\Theta_1 = 0^\circ$, $\Theta_2 = X^\circ$, $\Theta_3 = Y^\circ$ y $\Theta_4 = 0^\circ$ donde 0° está alineado con el plano de incidencia proporcionando 2 píxeles con mayor SNR. Los valores angulares X e Y se seleccionan adecuadamente para minimizar el número de condición (CN) de la matriz de reducción de datos (DRM) sujeta a la restricción de que 2 de los 4 píxeles estén alineados con el plano de incidencia. Existe una compensación directa entre la cantidad de píxeles que tienen

el mismo valor angular y están alineados con el plano de incidencia para mejorar la SNR y la cantidad de píxeles que tienen diferentes valores angulares para mejorar la diversidad de polarización. El tamaño de la submatriz y los valores angulares se pueden optimizar suponiendo una alineación perfecta entre el polarizador de microrred y el FPA o, como se describe en la solicitud de patente pendiente 14.836.305 titulada “Matriz de filtros pixelados polarizados con sensibilidad reducida a la desalineación para imágenes polarimétricas” presentado el 26 de agosto de 2015 para dar cuenta de la desalineación.

En términos generales, las salidas P_x de un píxel FPA correspondiente a un polarizador en el ángulo x en cada submatriz se pueden procesar para producir una imagen de radiancia (aunque con una resolución reducida) promediando las salidas P_x en cada submatriz, para producir una imagen de ángulo de polarización lineal (AoLP), por ejemplo, para una submatriz de 2×2 $AoLP = 0,5 \cdot \arctan((P_0 - P_{90}) / (P_{45} - P_{135}))$ y para producir una imagen de grado de polarización lineal (DoLP), por ejemplo, para una submatriz de 2×2 $DoLP = \sqrt{((P_0 - P_{90})^2 + (P_{45} - P_{135})^2) / (P_0 + P_{90})}$ suponiendo una submatriz estándar de 2×2 . La ventana óptica y el filtrado de polarización pueden crear un sesgo de polarización p en las imágenes AoLP y DoLP. Este sesgo se puede mitigar o eliminar calibrando la matriz de reducción de datos para el polarizador de la microrred.

En el caso de calentamiento aerotérmico no uniforme de la ventana óptica, que produce un gradiente en la radiancia incidente, es importante tener en cuenta que la imagen AoLP eliminará cualquier gradiente que tenga el mismo valor para cada submatriz 2×2 además de las autoemisiones de la ventana de fondo, mientras que la imagen de radiancia y la imagen DoLP no lo harán. En ciertos casos extremos, la imagen AoLP será el único producto de datos utilizado para rastrear un objetivo.

Se pueden implementar combinaciones del polarizador de lámina, el polarizador de microrred y un elemento transmisor utilizando un obturador mecánico o una matriz de microrred dinámica. El polarizador de lámina se puede usar con detectores de imágenes o sin imágenes, mientras que el polarizador de microrred solo es aplicable para detectores de imágenes como un FPA.

Con referencia ahora a la Figura 3, una realización de un sistema óptico 50 comprende una ventana óptica 52 que tiene superficies interior y exterior 54 y 56, respectivamente, con una curvatura con respecto a un eje central 58 y simétrica alrededor de él. La ventana óptica 52 puede tener una forma semiesférica o conformada. Normalmente, las armas hipersónicas tienen una forma conforme con un AOI relativamente alto por consideraciones aerodinámicas. La ventana óptica puede formarse a partir de germanio o un material cerámico óptico nanocompuesto (NCOC) que es sustancialmente transmisor en el MWIR.

La óptica de enfoque fijo 60 tiene una pupila de entrada 62 que está desplazada del eje central 58 para mirar a través de un segmento fuera del eje 64 de la ventana óptica 52 de manera que un campo de visión (FOV) 66 no cruza el eje central 58 detrás de la ventana óptica. 52. La óptica de enfoque 60 está configurada adecuadamente para proporcionar corrección óptica para la distorsión producida al pasar a través de la ventana óptica, encaminar la radiación incidente a lo largo de una trayectoria óptica (eje óptico) 68 y enfocar la radiación incidente en un plano focal. La óptica de enfoque 60 puede incluir elementos ópticos correctivos, elementos de enfoque y espejos giratorios, por ejemplo. La óptica de enfoque 60 captura la radiación incidente 69 de un objetivo distante 70 y la radiación autoemitida desde el segmento fuera del eje 64 de la ventana.

Un detector 72 en o cerca del plano focal genera una señal(es) en respuesta a la intensidad de la radiación incidente en una banda espectral (por ejemplo, la banda MWIR). El detector puede ser, por ejemplo, un detector de cuatro celdas para aplicaciones sin imágenes, como el seguimiento de puntos. La celda cuádruple genera cuatro señales en respuesta a la intensidad de la radiación incidente en cada celda que se procesan para generar un ángulo con respecto al objetivo. El detector puede ser, por ejemplo, una matriz de plano focal (FPA) para diversas aplicaciones de obtención de imágenes. El FPA generalmente incluye una serie de píxeles, cada píxel incluye un fotodetector que genera una señal en respuesta a la intensidad del incidente. Los detectores no responden a la polarización de la radiación incidente. El detector puede incluir un IC de lectura (ROIC) para leer las señales.

Un polarizador 74 está colocado en la trayectoria óptica 68 entre el segmento fuera del eje 64 de la ventana óptica 52 y el detector 72. Polarizador 74, por ejemplo, un polarizador de lámina o polarizador de microrrejilla comprende al menos un píxel de filtro que imparte una polarización lineal de un cierto valor angular para filtrar la radiación incidente 69 en función de su polarización. El polarizador de lámina se puede colocar en cualquier lugar a lo largo de la trayectoria óptica, mientras que un polarizador de microrred se debe colocar en el FPA o en una imagen intermedia del plano focal. Un mecanismo 76 fija la alineación de al menos un píxel de filtro con la polarización p en el plano de incidencia de manera que el polarizador prefiera la radiación objetivo a la radiación de ventana autoemitida. Esto aumenta el contraste de la radiación objetivo con la radiación de la ventana autoemitida y, por tanto, la SNR en el detector. El mecanismo 76 puede, por ejemplo, un soporte de montaje y pernos para asegurar el polarizador 74.

Uno o varios procesadores 77 procesan la señal que produce para generar datos. Para un polarizador de lámina, el procesador genera una imagen de resplandor. Para un polarizador de microrred, el procesador puede generar una imagen de radiancia, una imagen AoLP y una imagen DoLP. La electrónica 78 utiliza los productos de datos para

rastrear el objetivo y proporcionar señales de comando para guiar el arma hipersónica hacia el objetivo. La electrónica 78 se puede configurar para usar sólo la imagen AoLP.

Refiriéndose ahora a las Figuras 4a y 4b, una realización de un sistema óptico 80 comprende una ventana óptica 82 que tiene superficies interiores y exteriores con una curvatura con respecto a y simétrica alrededor de un eje central 88. Las ópticas de enfoque 90 están montadas en un cardán 92 de dos ejes (giro/asentimiento) que gira la pupila de entrada 94 de la óptica para mirar a través de diferentes segmentos fuera del eje 96 de la ventana óptica para barrer un FOV 98 sobre un campo de visión más grande. La óptica y la pupila de entrada están desplazadas del eje central 88 y rotadas a través de ángulos permitidos en giro y movimiento de tal manera que el FOV 98 no cruza el eje central 88 detrás de la ventana óptica.

En esta realización, el cardán de dos ejes 92 comprende un cardán de giro 100 que es accionado para girar alrededor de un eje de giro coincidente con el eje central 88 y un cardán de inclinación 102 montado en el cardán de giro y accionado para girar alrededor de un eje de inclinación 104 que es perpendicular. o sesgado al eje central 88. Cada cardán incluye el cardán giratorio y un motor de accionamiento para afectar la rotación. La óptica de enfoque 90 incluye elementos ópticos de enfoque o correctores 105, 106, 108 y 110 y espejos giratorios 112 y 114 montados en un cardán para recoger la radiación incidente dentro de la pupila de entrada, corregir, enfocar y encaminar la radiación incidente a lo largo de una trayectoria óptica hasta un plano focal.

Se sitúa un polarizador en la trayectoria óptica entre el segmento fuera del eje 96 de la ventana óptica y un detector 116 (por ejemplo, de cuatro celdas o FPA) situado en o cerca del plano focal. En una primera realización, un polarizador 117 puede situarse fuera del cardán. Si el polarizador 117 es un polarizador de lámina, puede situarse en cualquier posición arbitraria a lo largo del camino óptico. Si el polarizador 117 es un polarizador de microrred, debe colocarse en el FPA o en una imagen intermedia del plano focal. Si está fuera del cardán, el polarizador solo está alineado con el plano de incidencia (como se define por la superficie normal 119 a la ventana óptica) en una orientación de giro/inclinación especificada (por ejemplo, 0°, 0°) y una orientación de 180° fuera del eje (por ejemplo, 180°, 180°). Para leer el detector, el cardán se gira a una de estas dos posiciones. Por tanto, el "mecanismo" para alinear el polarizador se implementa mediante el cardán de cabeceo y la rotación del cardán de cabeceo. Como se analizará más adelante, si el polarizador de lámina se implementa con una matriz de microrred dinámica, esa matriz puede reconfigurarse para girar con el cardán para mantener la alineación con el plano de incidencia.

En una segunda realización, se coloca un polarizador 118 en el cardán de inclinación 102 ("sobre cardán"). Si el polarizador 118 es un polarizador de lámina, puede colocarse en cualquier lugar de la trayectoria óptica del cardán de inclinación y alinearse ópticamente con el plano de incidencia, y permanece en el plano de incidencia mientras los cardanes de giro y de inclinación giran alrededor de sus respectivos ejes. Como se muestra en la Figura 4b, las líneas del polarizador de lámina indican la dirección del eje de paso. Si el polarizador 118 es un polarizador de microrred, debe colocarse en una imagen intermedia 120 del plano focal en el cardán de cabeceo y alineado ópticamente con el plano de incidencia, y permanece en el plano de incidencia a medida que los cardanes de giro y cabeceo giran alrededor de sus respectivos ejes.

Uno o varios procesadores 122 procesan la señal que produce para generar datos. Para un polarizador de lámina, el procesador genera una imagen de radiancia. Para un polarizador de microrred, el procesador puede generar una imagen de radiancia, una imagen AoLP y una imagen DoLP. La electrónica 124 utiliza los productos de datos para rastrear el objetivo y proporcionar señales de comando para guiar el arma hipersónica hacia el objetivo. La electrónica 124 se puede configurar para usar sólo la imagen AoLP. Si el polarizador 117 está montado fuera del cardán, la electrónica 124 genera señales del cardán para que los motores de accionamiento giren los cardanes para alinear el plano de incidencia con el polarizador para leer el detector.

Con referencia ahora a las Figuras 5a, 5b y 5c, se coloca un polarizador de lámina 150 en la trayectoria óptica detrás de un segmento fuera del eje 152 de la ventana óptica y se alinea con el plano de incidencia definido por una superficie normal 154 con el segmento fuera del eje. La luz 156 procedente de un objetivo se p-polariza pasando a través de las superficies interior y exterior del segmento 152 fuera del eje. La luz 158 que es autoemitida por el segmento 152 fuera de eje se p-polariza al pasar sólo a través de la superficie interior. El porcentaje de p-polarización 160 de la luz objetivo 156 es, por tanto, mayor que el porcentaje de p-polarización 162 de la luz 158 de la ventana. El grado de p-polarización y, por tanto, la diferencia en la p-polarización aumenta a medida que aumenta el ángulo de incidencia 164. La diferencia es adecuadamente de al menos el 5 %.

Dado que el polarizador de lámina 150 está alineado con el plano de incidencia, prefiere la luz p-polarizada. Como resultado, una mayor porción de la luz objetivo 156 pasa a través del polarizador que la luz de la ventana 158, aumentando así el contraste de la luz objetivo con la luz de la ventana y la SNR 166 en el detector. Como se muestra, la SNR 166 en el detector también aumenta al aumentar el AOI.

Como se muestra en la Figura 5c, las imágenes de los lados izquierdo y derecho 170 y 172, respectivamente, son de radiación sin polarizador (sin polarizador) y polarizador de radiación filtrada con p-polarización (lámina). Sin el polarizador, el fondo aparece gris, mientras que con el polarizador el fondo aparece negro, lo que explica la mejora en

la SNR del objetivo en la escena. La mejora en la SNR puede permitir que la electrónica rastree el objetivo a pesar del calentamiento aerotérmico extremo de la ventana óptica.

Con referencia ahora a la Figura 6, un polarizador de microrred 200 está montado dentro o fuera del cardán en la trayectoria óptica en un FPA 202 o una imagen intermedia del plano focal. El cardán gira una pupila de entrada 204 de la óptica para mirar a través de diferentes segmentos fuera del eje 206 y 208 de la ventana óptica 210 a un objetivo 212. El segmento 206 en la punta de la ventana óptica se calienta a una temperatura más alta que el segmento 208. La diferencia de temperatura produce un gradiente 214 en la imagen de radiación 216 del objetivo.

El polarizador 200 de microrred comprende una serie de submatrices 218 de filtros pixelados polarizados. Cada submatriz 218 comprende tres o más píxeles de filtro Q de los cuales al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente. En esta realización, cada submatriz es una agrupación de 2x2 de píxeles de filtro que imparten polarizaciones lineales de 0°, 45°, 90° y 135°, respectivamente, con una polarización lineal alineada con la P polarización en el plano de incidencia. Los píxeles FPA se agrupan en superpíxeles 220 de 2x2 correspondientes a cada submatriz.

Las salidas de un superpíxel FPA en cada submatriz se pueden procesar para producir productos de datos. Suponiendo que cualquier gradiente es constante en una agrupación de píxeles de 2x2, cada salida de píxel dentro de un superpíxel incluye una contribución de Px en el ángulo x para la radiación objetivo y una contribución constante W para la radiación de la ventana. Una imagen de radiancia (aunque con una resolución reducida) se calcula promediando las salidas Px en cada submatriz como $RAD = 0,25 * ((P0+W) + (P45+W) + (P90+W) + (P135+W))$. Como tal, la imagen de radiancia incluye el componente de radiancia de la ventana. Una imagen 222 de ángulo de polarización lineal (AoLP) se calcula como $AoLP = 0,5 * \text{atan}(((P0+W)-(P90+W))/((P45+W)-(P135+W))) = 0,5 * \text{atan}((P0-P90)/(P45-P135))$. Como tal, el componente de resplandor de la ventana se autoemite y, por lo tanto, cualquier componente de gradiente se cancela en la imagen AoLP. Un grado de imagen de polarización lineal (DoLP) se calcula como $DoLP = \sqrt{((P0-P90)^2 + (P45-P135)^2) / (P0+P90+2W)}$. La imagen DoLP incluye el componente de radiancia de la ventana. Por lo tanto, en casos de calentamiento aerotérmico extremo, la imagen AoLP puede ser el único producto de datos útil. Cada uno de los productos de datos se puede mejorar, hasta cierto punto, alineando uno o más píxeles de polarización con el plano de incidencia para mejorar el contraste de la radiancia objetivo con la radiancia de la ventana.

Haciendo referencia ahora a la Figura 7, en una realización una submatriz 250 de un polarizador de microrred incluye una agrupación 2x2 de píxeles de filtro Q de los cuales al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente, y un tercer píxel cualquiera no está polarizado o imparte una polarización lineal de un valor angular diferente. El cuarto píxel no es necesario para crear los productos de datos AoLP y DoLP, pero se puede utilizar para aumentar la diversidad de polarización, mejorando así los productos de datos AoLP y DoLP, o para aumentar la SNR. Como se muestra, dos de los píxeles imparten una polarización lineal de 0° y los otros dos píxeles imparten polarizaciones lineales de X° e Y°. El polarizador de microrred está alineado de manera que la polarización lineal de 0° se encuentre en el plano de incidencia para pasar la luz p-polarizada. Tenga en cuenta que la asignación de 0° para la alineación con el plano de incidencia es arbitraria; cualquier valor de polarización lineal podría alinearse de esa manera. Los valores de X e Y se seleccionan para proporcionar diversidad de polarización. En realizaciones alternativas, la submatriz puede ser mayor que 2x2, en cuyo caso más de 2 píxeles pueden tener el mismo valor angular alineado con el plano de incidencia. La compensación es entre SNR y diversidad de polarización.

Con referencia ahora a las Figuras 8a-8d, en una realización el polarizador puede implementarse como una matriz de microrred dinámica 300 en la que los píxeles individuales pueden configurarse selectivamente para impartir una polarización lineal con diferentes valores angulares o para no estar polarizados. La matriz podría configurarse como un polarizador de lámina 302 estableciendo todos los valores angulares al mismo valor. La matriz podría configurarse como una submatriz 304 de un polarizador de microrred estableciendo los valores angulares en valores diferentes. La matriz podría configurarse como un elemento transmisor 306 configurando todos los píxeles para que no estén polarizados en "U". Si el polarizador está montado fuera del cardán, los valores angulares podrían actualizarse para rotar efectivamente el polarizador en sincronía con la rotación de la pupila de entrada para mantener la alineación del polarizador con el plano de incidencia. En la solicitud de patente estadounidense n.º 14/291.098 titulada "Dynamic Polarizer" presentada el 30 de mayo de 2015 se describe una realización de una matriz de microrred dinámica.

En determinadas aplicaciones, la matriz dinámica de microrred podría reconfigurarse entre un polarizador de lámina, un polarizador de microrred y el elemento transmisor en función de las condiciones de la misión. Por ejemplo, si la radiación sin filtrar proporciona suficiente SNR para rastrear el objetivo, la matriz de microrred dinámica puede configurarse como un elemento transmisor. Si la SNR cae por debajo del umbral mínimo, la matriz dinámica de microrred puede reconfigurarse como polarizador de lámina o polarizador de microrred.

Con referencia ahora a la Figura 9, en una realización, un elemento transmisor fijo 400, un polarizador de lámina fijo 402 y un polarizador de microrrejilla fijo 404 están montados en un soporte 406 en un sistema óptico fijo o dentro o fuera de un cardán en un sistema óptico con cardán. Un mecanismo de obturador 408 acciona selectivamente el portador 406 para mover uno del elemento transmisor 400, el polarizador de lámina 402 y el polarizador de microrrejilla 404 hacia una trayectoria óptica 410 hacia un FPA 412.

Si bien se han mostrado y descrito varias realizaciones ilustrativas de la invención, a los expertos en la técnica se les ocurrirán numerosas variaciones y realizaciones alternativas. Se contemplan tales variaciones y realizaciones alternativas, y pueden realizarse sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema óptico para uso con un vehículo aéreo sujeto a calentamiento aerotérmico, comprendiendo dicho sistema óptico:
 - una ventana óptica (12, 36, 52) que tiene superficies interior (34) y exterior (32) con una curvatura con respecto a un eje central, dicha ventana óptica configurada de manera que la radiación incidente de un objetivo pasa a través de dichas superficies interior y exterior cada uno de los cuales induce una polarización P a la radiación objetivo incidente dentro de un plano de incidencia (38), dicha ventana óptica está configurada para autoemitir radiación que pasa solo a través de dicha superficie interior que induce una polarización P a la radiación autoemitida dentro del plano de incidencia, superponiéndose dicha radiación autoemitida al espectro de la radiación objetivo;
 - óptica de enfoque (60) que comprende una pupila de entrada (62) desplazada del eje central para mirar a través de un segmento fuera del eje (64, 152, 206, 208) de la ventana óptica (52), dicha óptica de enfoque configurada para encaminar la radiación incidente a lo largo de una trayectoria óptica y enfocar la radiación incidente en un plano focal;
 - un detector (72, 116) en o cerca del plano focal configurado para detectar radiación incidente;
 - un polarizador (74, 117, 118, 150, 200,402,404) colocado en la trayectoria óptica entre la ventana óptica y el detector, comprendiendo dicho polarizador al menos un píxel de filtro que imparte una polarización lineal de un cierto valor angular para filtrar la radiación incidente como una función de la polarización de la radiación incidente; y
 - un mecanismo configurado para alinear dicho al menos un píxel de filtro con la polarización P dentro del plano de incidencia, comprendiendo dicho mecanismo:
 - un cardán exterior (100) configurado para girar alrededor de un primer eje de rotación; y
 - un cardán interior (102) montado en el cardán exterior, dicho cardán interior configurado para girar la pupila de entrada alrededor de un segundo eje de rotación perpendicular o sesgado al primer eje de rotación.
2. El sistema óptico de la reivindicación 1 que comprende además:
 - un fuselaje (15); y
 - un sistema de propulsión (17) configurado para impulsar el fuselaje hacia un objetivo a velocidades superiores a Mach 5.
3. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que dicho polarizador está colocado fuera del cardán, y en el que el mecanismo está configurado para implementarse mediante la rotación del cardán interior (102).
4. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que dicho polarizador comprende un polarizador de lámina que tiene sólo un único píxel de filtro.
5. El sistema óptico de la reivindicación 4, en el que dicho mecanismo monta el polarizador de lámina (118) en el cardán interior alineado con la polarización P en el plano de incidencia y permanece alineado mientras los cardanes exterior e interior giran alrededor del primer y segundo ejes de rotación, respectivamente.
6. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que el detector comprende una matriz de plano focal pixelado, FPA, en el que el polarizador comprende una matriz polarizadora de microrred que tiene una pluralidad de submatrices de filtros pixelados polarizados (218, 300) colocados en el FPA o una imagen intermedia del plano focal, comprendiendo cada submatriz tres o más píxeles de filtro de los cuales al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente, dicho mecanismo configurado para alinear el conjunto de polarizadores de microrred de manera que al menos uno de los píxeles del filtro que imparte una polarización lineal está alineado con la polarización P en el plano de incidencia, que además comprende un procesador (77, 122) configurado para leer y procesar múltiples agrupaciones de tres o más píxeles FPA para calcular una imagen de ángulo de polarización lineal, AoLP.
7. El sistema óptico de la reivindicación 6, en el que cada submatriz comprende al menos dos píxeles de filtro que están alineados con la polarización P en el plano de incidencia o en el que cada submatriz es un conjunto de 2x2 de píxeles de filtro que imparten polarizaciones lineales de 0, 45, 90 y 135 grados, respectivamente, con dicha polarización lineal alineada con la polarización P en el plano de incidencia.
8. El sistema óptico de la reivindicación 6, en el que una matriz de reducción de datos para el polarizador de microrred está calibrada para reducir el sesgo de polarización P en la imagen de AoLP.
9. El sistema óptico de la reivindicación 6, en el que el polarizador de microrred está colocado fuera del cardán en el FPA, dicho mecanismo fija la alineación de la matriz de polarizadores de microrred de tal manera que

al menos uno de los píxeles del filtro que imparte una polarización lineal está alineado con la polarización P en el plano de incidencia.

- 5 10. El sistema óptico de la reivindicación 6 que comprende, además:
dicho mecanismo montando el polarizador de microrred en el cardán interior en una imagen intermedia del plano focal, dicho polarizador de microrred montado de manera que dicho al menos un píxel de filtro esté alineado con la polarización P en el plano de incidencia y permanezca alineado como el exterior y los cardanes internos giren alrededor del primer y segundo ejes de rotación, respectivamente, o dicho mecanismo
10 monta el polarizador de microrred fuera del cardán en el FPA de manera que dicho al menos un píxel de filtro esté alineado con la polarización P en el plano de incidencia en posiciones angulares conocidas del cardán interior y exterior, dicho mecanismo configurado para girar los cardanes exterior e interior a las posiciones angulares conocidas para leer la radiación incidente detectada desde el FPA.
- 15 11. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que dicho polarizador comprende una matriz de microrred dinámica que tiene una pluralidad de píxeles de filtro polarizados conmutables.
- 20 12. El sistema óptico de la reivindicación 11, en el que dicha matriz de microrred dinámica se puede configurar para cambiar todos los píxeles de filtro polarizados al mismo valor angular determinado para pasar la radiación polarizada P y cambiar los píxeles de filtro polarizados para formar una pluralidad de submatrices de filtro pixeladas polarizadas, comprendiendo cada submatriz tres o más píxeles de filtro de los cuales al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente de los cuales al menos un píxel de filtro está alineado para pasar radiación polarizada P.
- 25 13. El sistema óptico de la reivindicación 11, en el que la matriz de microrred dinámica se puede configurar para cambiar todos los píxeles del filtro polarizados a un estado no polarizado.
- 30 14. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que dicho polarizador comprende un polarizador de lámina que está alineado para pasar radiación polarizada P y un conjunto de polarizadores de microrred que tiene una pluralidad de submatrices de filtros pixelados polarizados, comprendiendo cada submatriz tres o más píxeles de filtro del que al menos dos píxeles de filtro imparten una polarización lineal de un valor angular determinado y diferente, que comprende, además:
un mecanismo de obturador configurado para mover selectivamente el polarizador de lámina o el
35 conjunto de polarizadores de microrred hacia una trayectoria óptica que conduce al FPA; y
un procesador configurado para leer y procesar píxeles FPA para calcular una imagen de intensidad cuando el polarizador de lámina está en la ruta óptica y para calcular una imagen de ángulo de polarización lineal, AoLP, cuando la matriz de polarizadores de microrred está en la ruta óptica.
- 40 15. El sistema óptico de la reivindicación 14, en el que el mecanismo de obturador está configurado para eliminar selectivamente tanto el polarizador de lámina como la matriz de polarizadores de microrred del camino óptico.

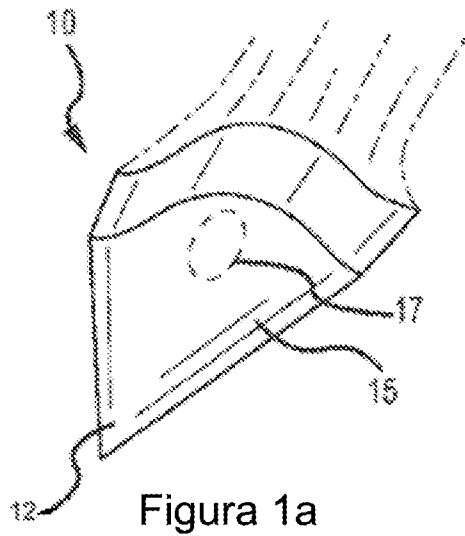


Figura 1a

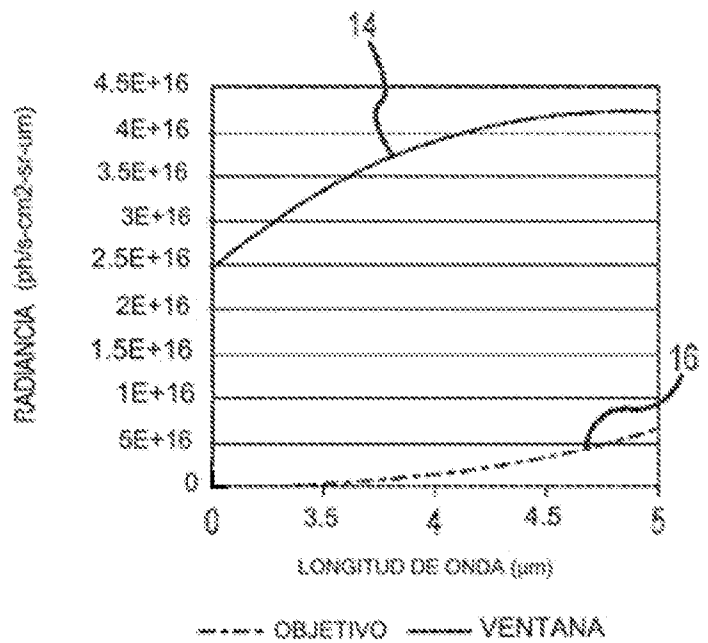


Figura 1b

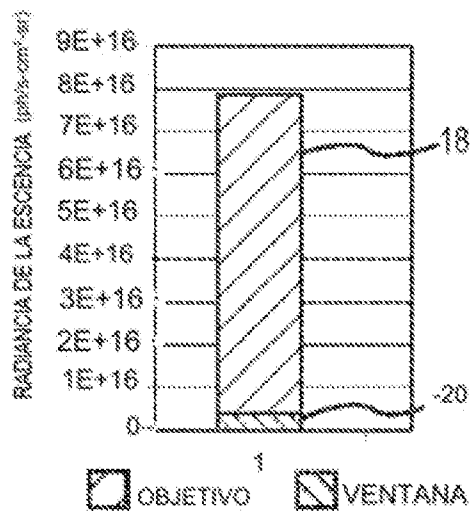


Figura 1c

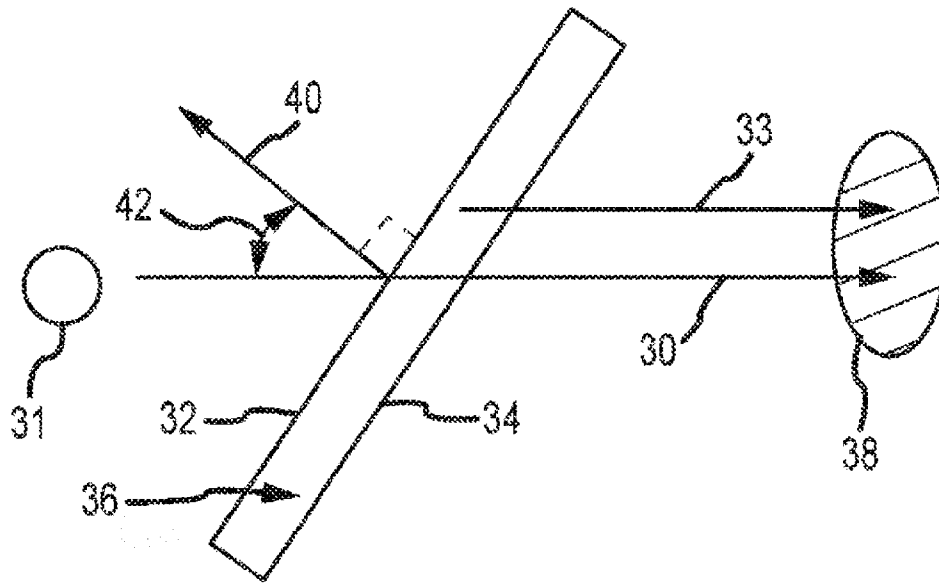


Figura 2a

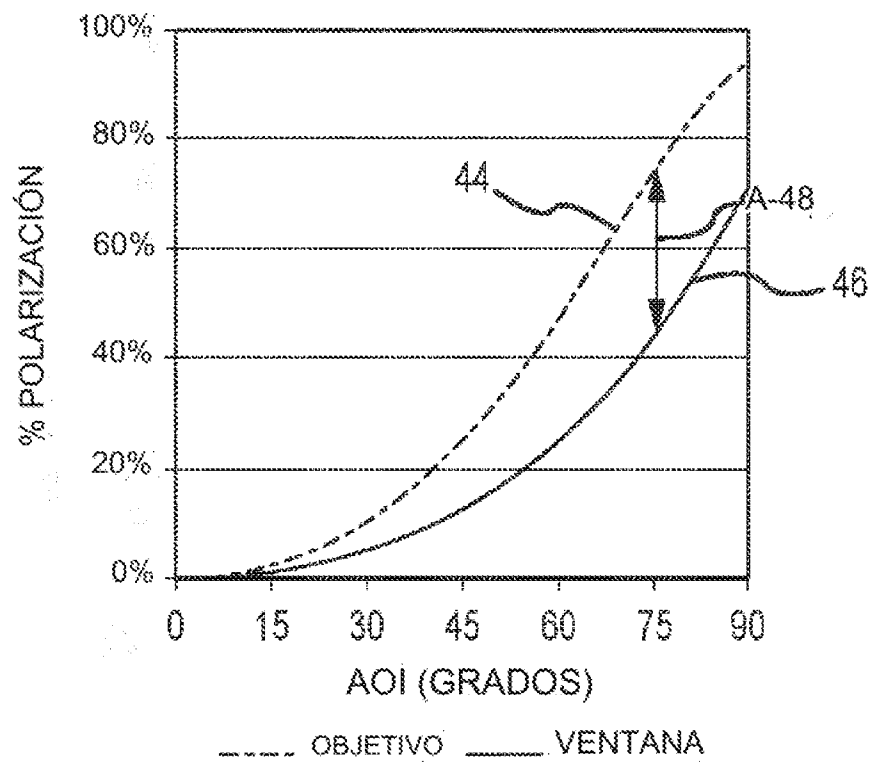


Figura 2b

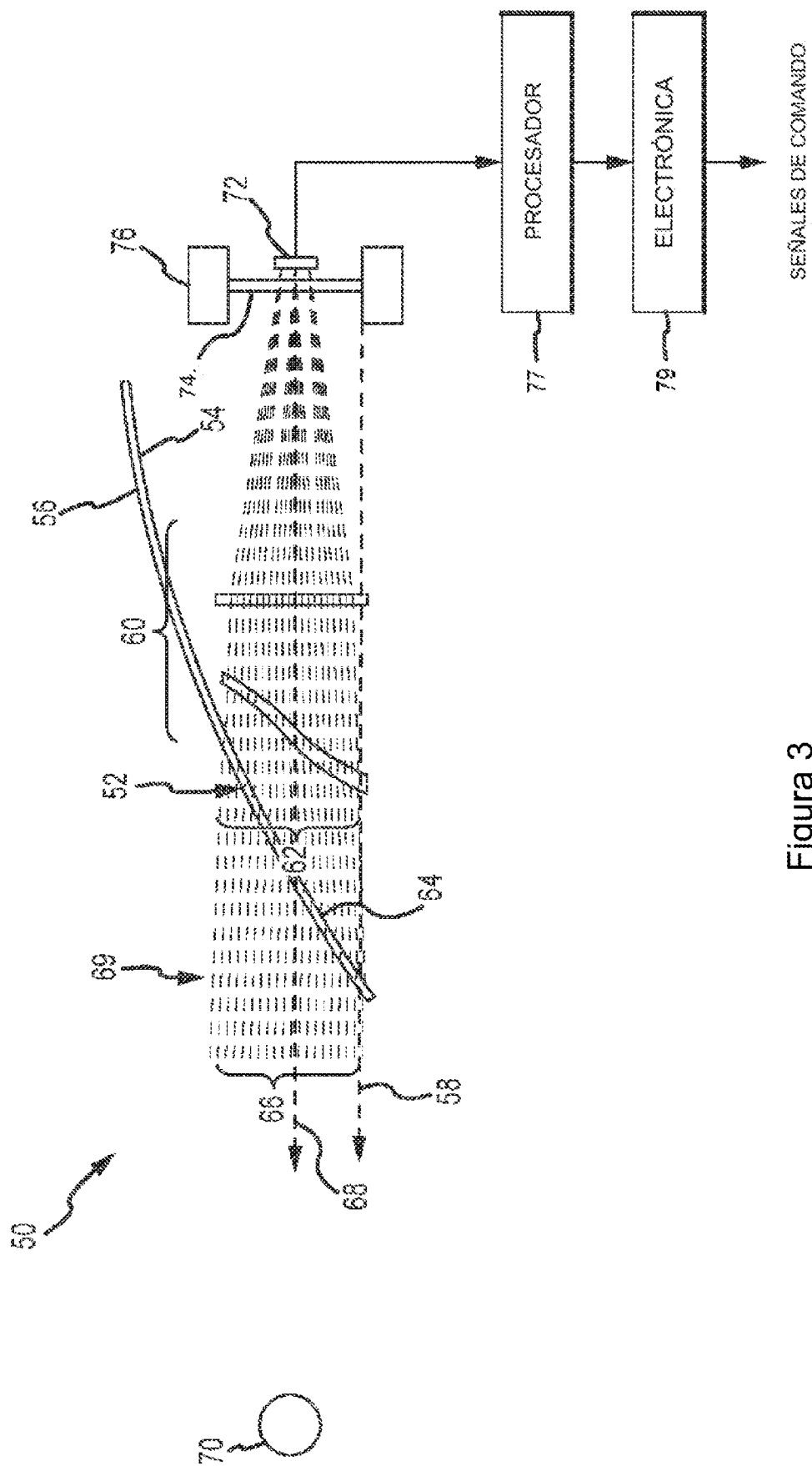


Figura 3

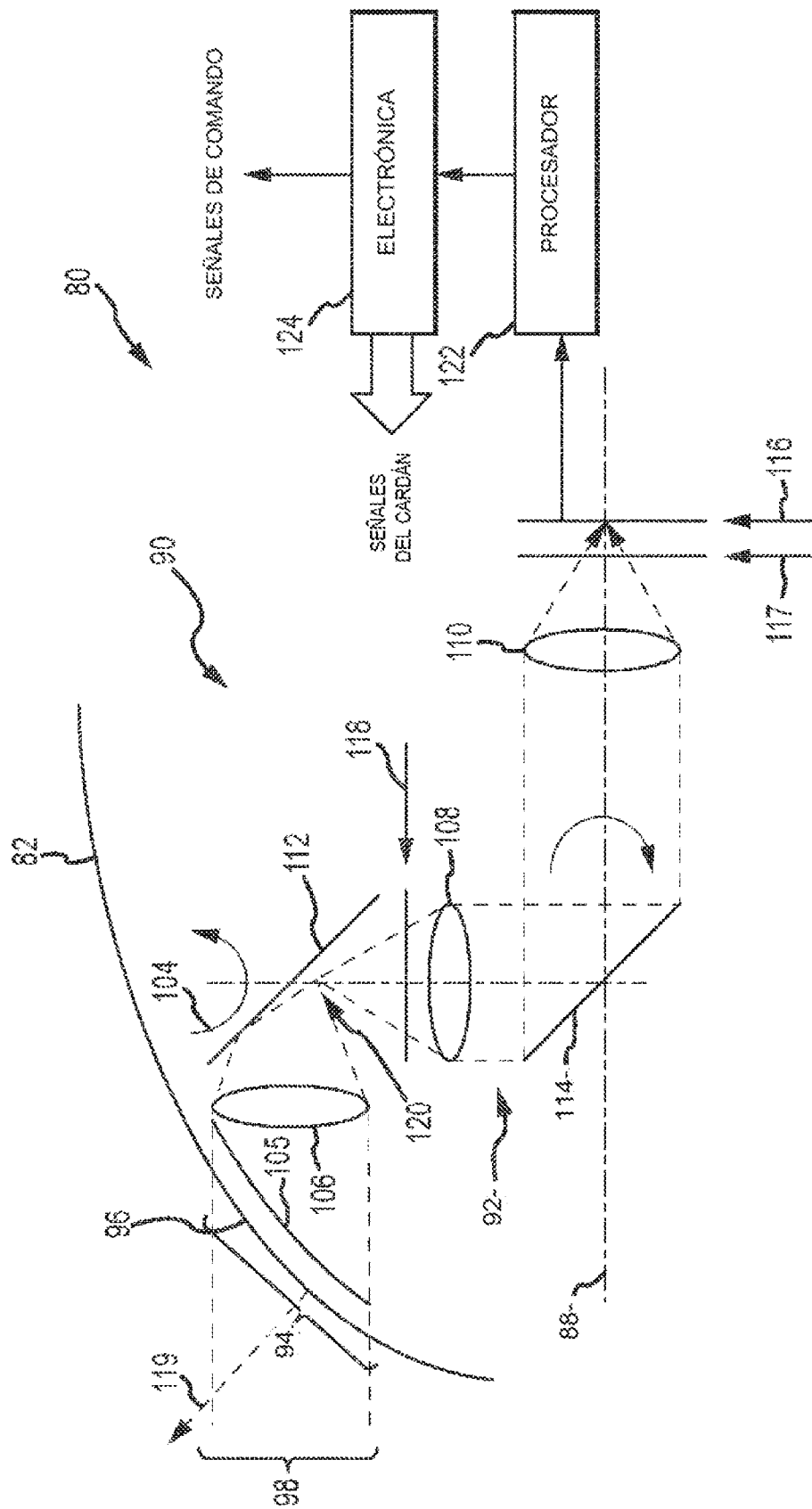


Figura 4a

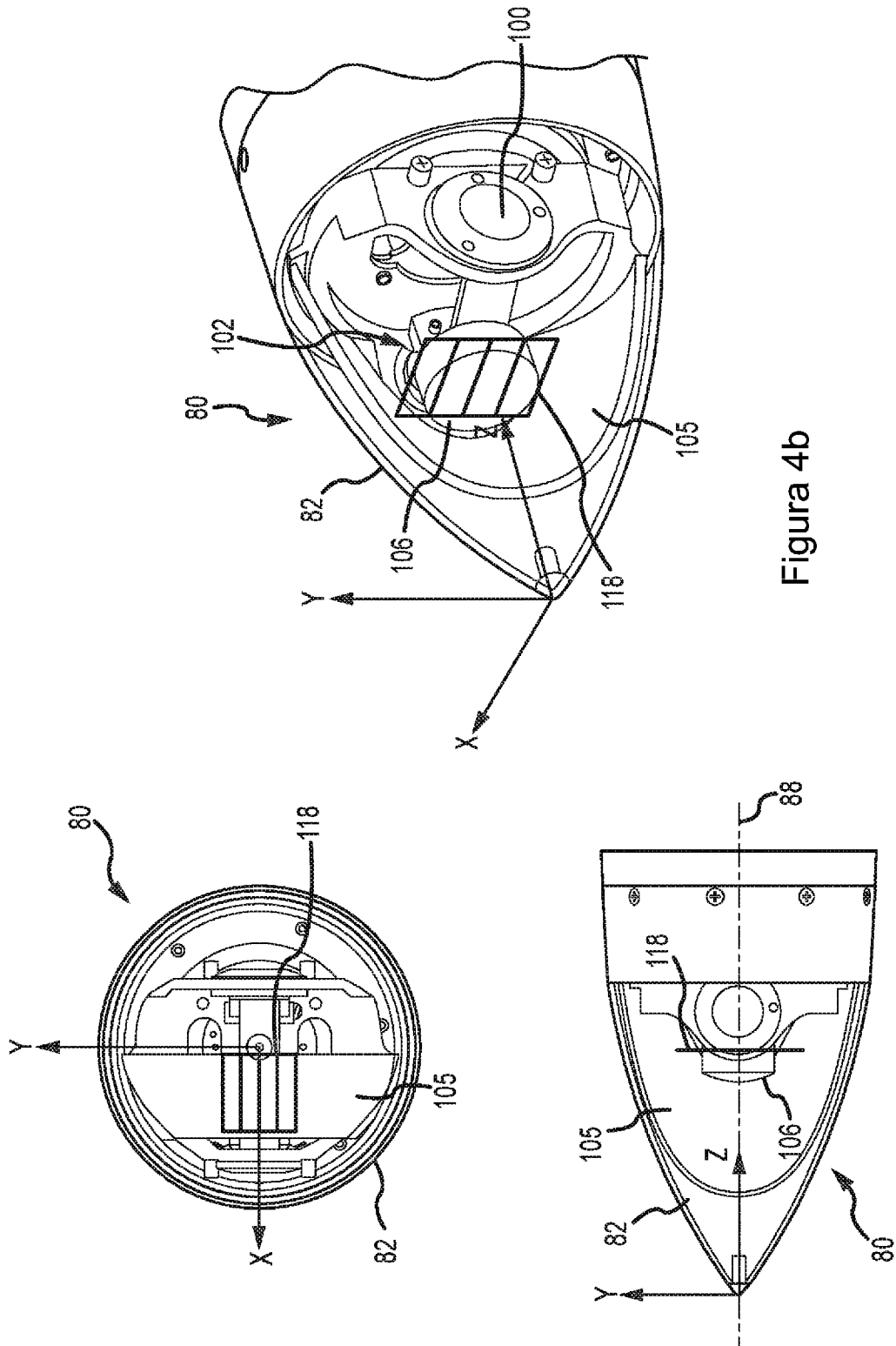


Figure 4b

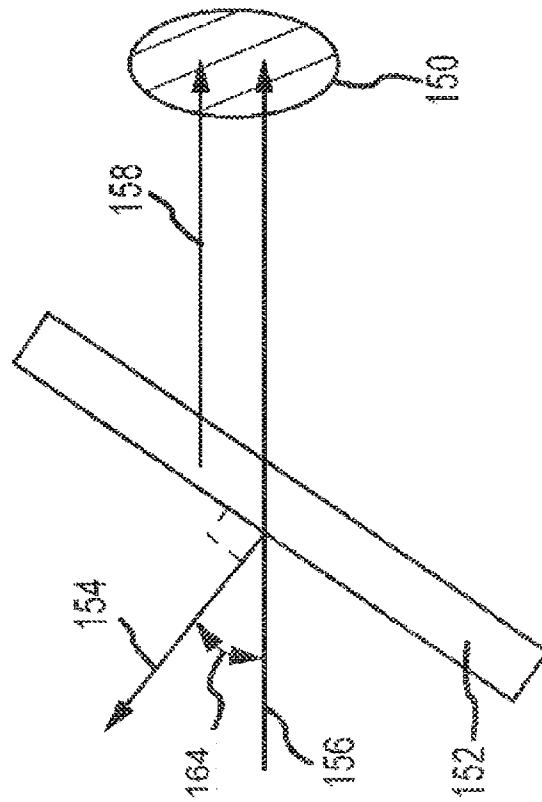


Figura 5a

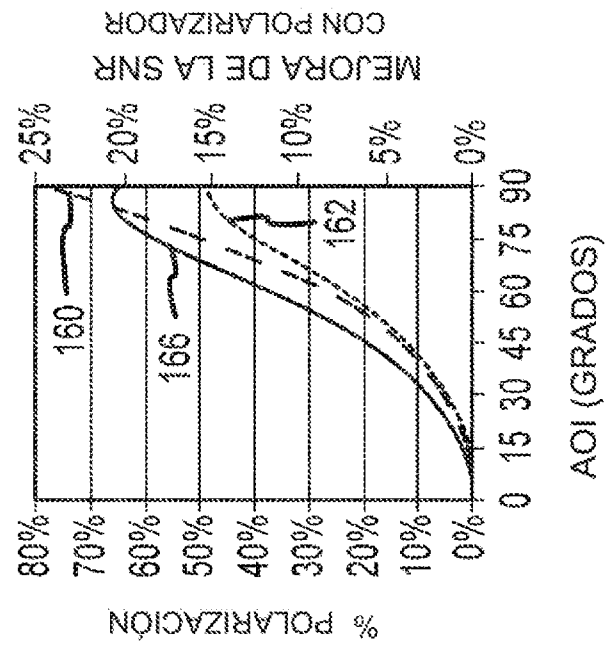


Figura 5b

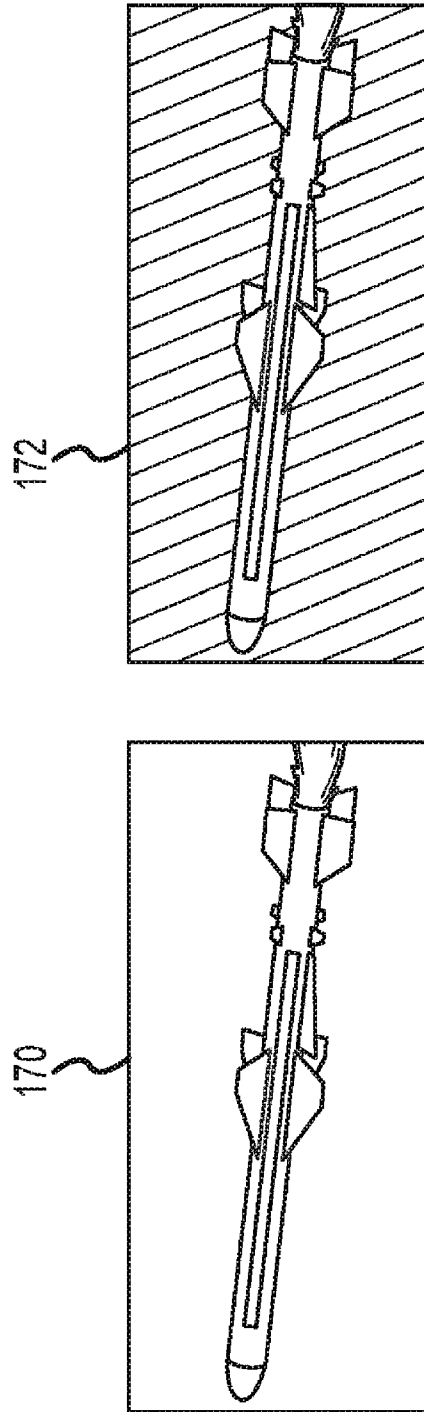


Figura 5c

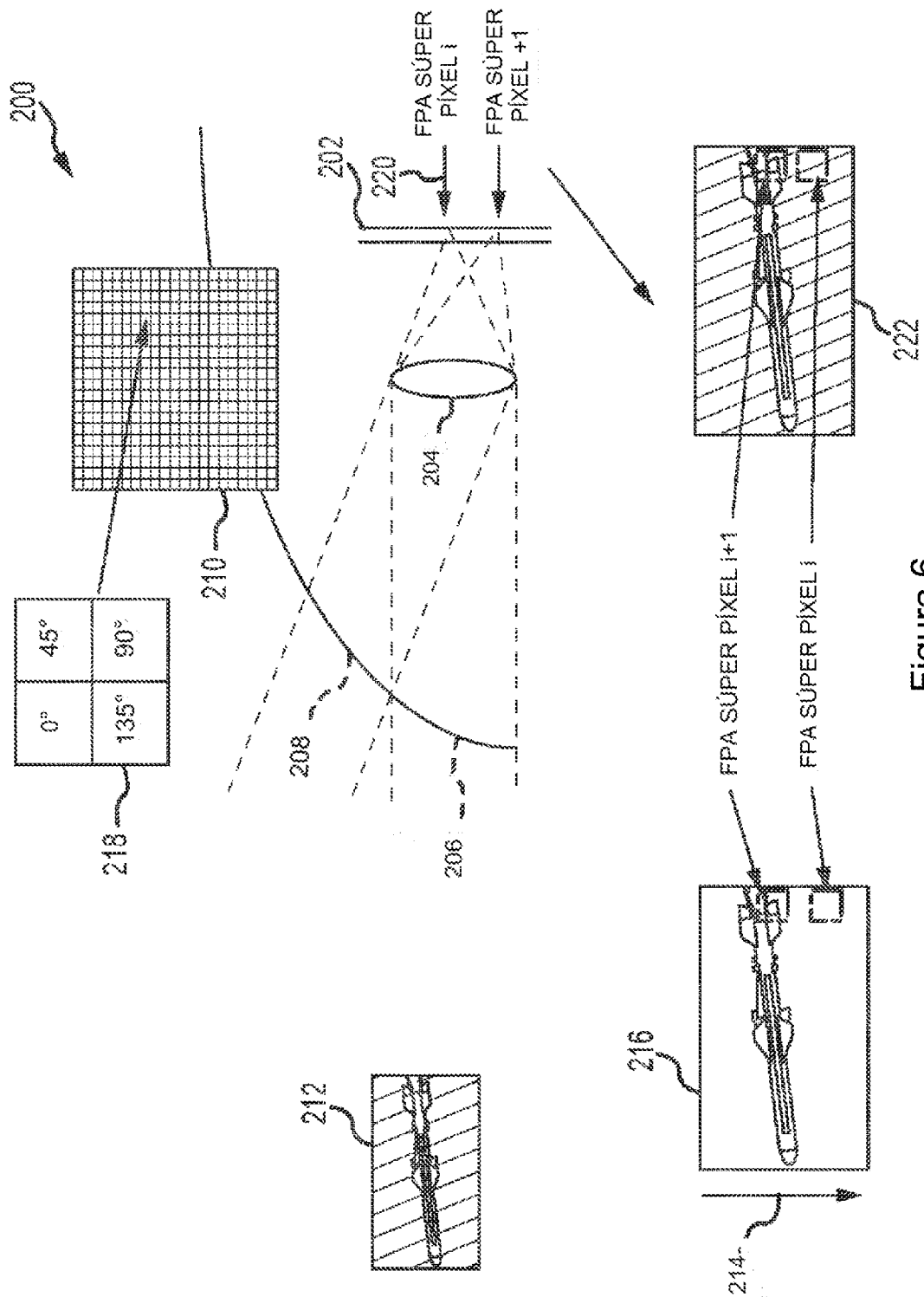


Figura 6

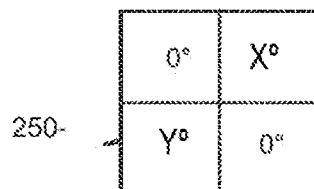


Figura 7

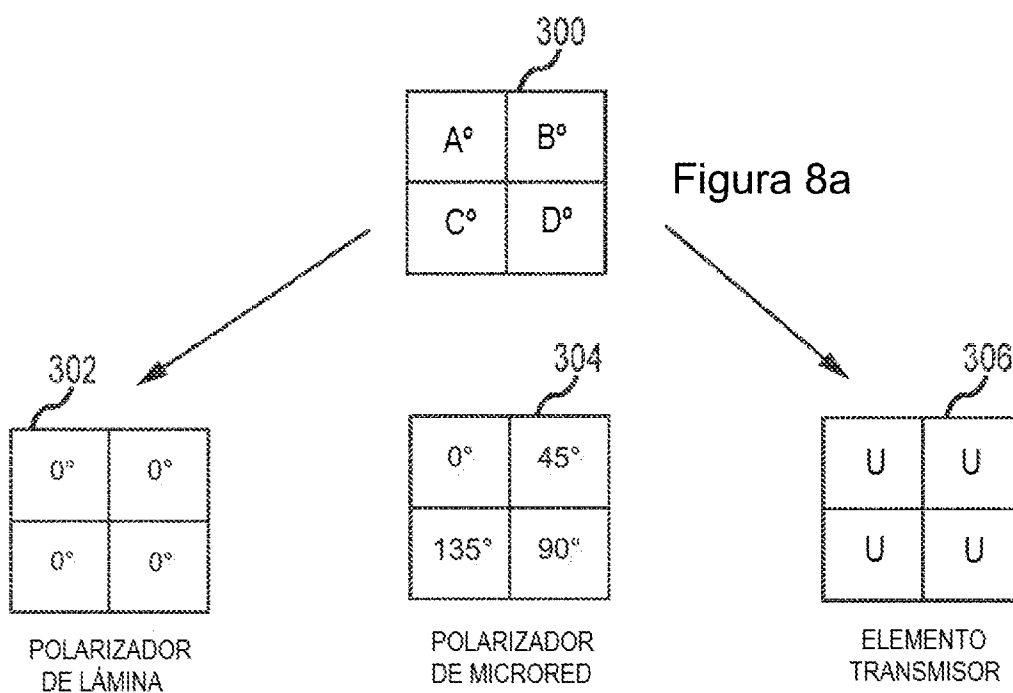


Figura 8b

Figura 8c

Figura 8d

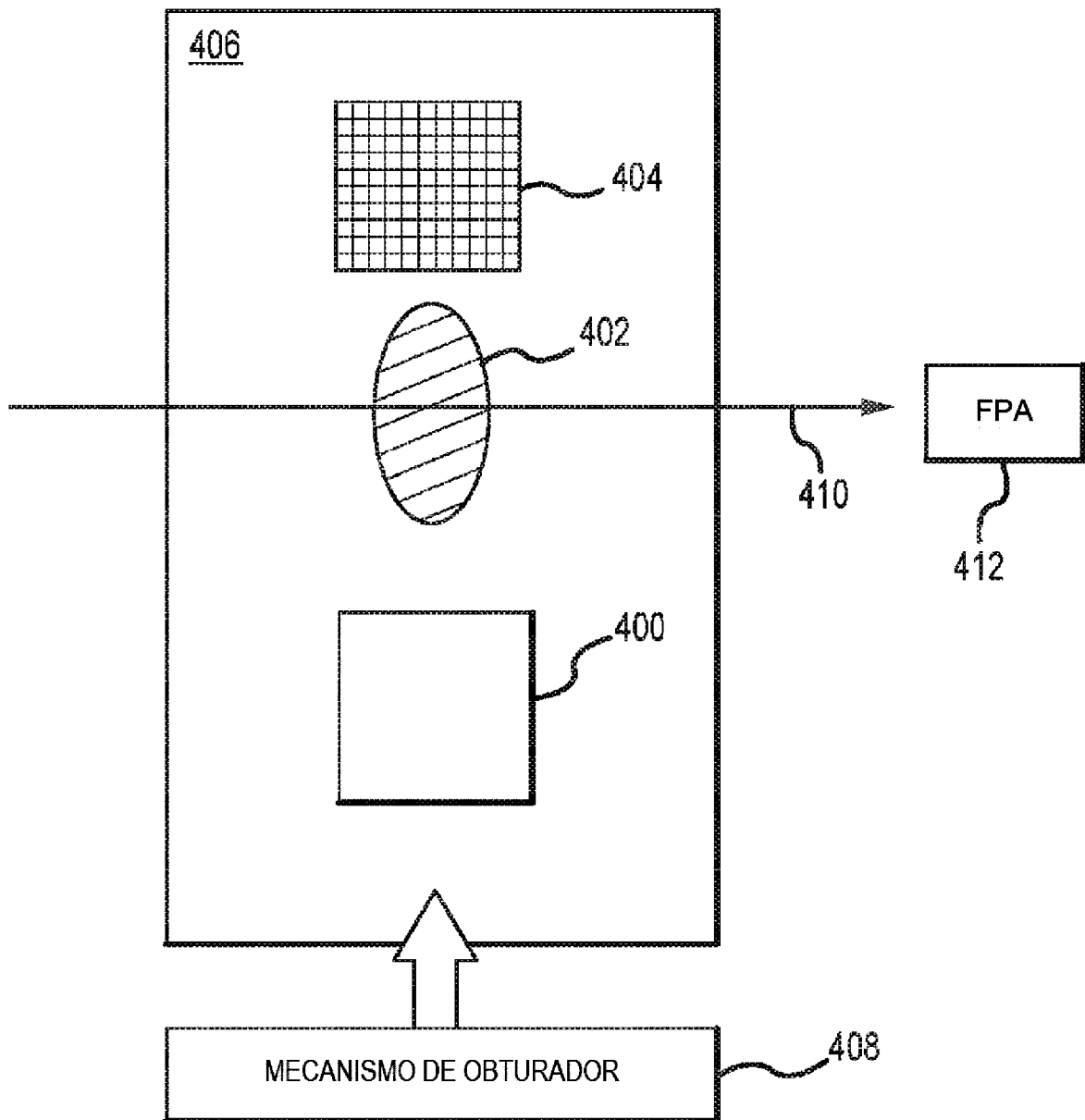


Figura 9